Научная статья
УДК 636.082: 575.113.2
doi:10.35694/YARCX.2026.73.1.006

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ МЯСНОЙ И МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ: ГЕНЫ CAPN1 И CAST (ОБЗОР)

П. О. Щеголев[1], А. А. Чаицкий[2], К. Д. Чаицкая[3], В. А. Дуркина[4]
[1, 2, 3, 4]Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Караваево, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Александрович Чаицкий,
leha.chaittskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

Реферат. Изучены литературные данные о строении, биологической функции, ассоциации с хозяйственно полезными признаками и частотах встречаемости генотипов и аллельных форм генов кальпаина (CAPN1) и кальпастатина (CAST). Ген CAPN1 у крупного рогатого скота кодирует белок кальпаин 1, участвующий во внутриклеточных процессах передачи сигналов и регуляции экспрессии генов, но наибольший интерес он представляет как участник механизма послеубойного разрушения мышечной ткани, влияя на нежность, сочность и «мраморность» мяса. Хотя литературные данные о прямой связи полиморфизма g.6545C>T (rs17872050) гена CAPN1 с параметрами молочной продуктивности не обнаружены, однако подтверждённая связь данного локуса с концентрацией гормона IGF1, в свою очередь, ассоциированного с показателями молочной продуктивности коров, позволяет рассматривать ген кальпаина как потенциальный маркер как мясной, так и молочной продуктивности. В свою очередь, ген кальпастатина (CAST) играет важную роль в регуляции действия гена кальпаина, ингибируя его действие на белки мышечной ткани. В качестве перспективного ДНК-маркера рядом исследователей предлагается локус CAST c155C>T (rs137601357), ассоциированный с толщиной подкожного жира, нежностью и «мраморностью» мяса. Этот же полиморфизм, по некоторым данным, оказывает влияние и на признаки молочной продуктивности коров – удой, выход молочного жира и белка, а также на показатели воспроизводительной способности (в частности, на длительность межотельного периода и количество осеменений, необходимых для осуществления одного оплодотворения).

Ключевые слова: *ген, кальпаин, кальпастатин, мясная продуктивность, молочная продуктивность, крупный рогатый скот*

GENETIC MARKERS OF MEAT AND DAIRY PRODUCTIVITY: CAPN1 AND CAST GENES (REVIEW)

P. O. Schiogolev[1], A. A. Chaitskiy[2], K. D. Chaickaya[3], V. A. Durkina[4]
[1, 2, 3, 4]Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russia

Author responsible for correspondence: Aleksey A. Chaitskiy,
leha.chaittskiy@mail.ru, ORCID 0000-0002-5853-3809

Abstract. Literature data on the structure, biological function, association with economically useful signs and frequencies of occurrence of genotypes and allelic forms of the calpaine (CAPN1) and calpastatin (CAST) genes were studied. The CAPN1 gene in cattle encodes the calpain 1 protein, which is involved in intracellular signaling and gene expression regulation, but is of greatest interest as a participant in the mechanism of post-slaughter destruction of muscle tissue, affecting the tenderness, succulence and "marbleness" of meat. Although literature data on the direct relationship of the g.6545C>T (rs17872050) polymorphism of the CAPN1 gene with the parameters of dairy productivity have not been found, however, the confirmed relationship of this locus with the concentration of the hormone IGF1, in turn, associated with the indicators of dairy productivity of cows, allows us to consider the calpain gene as a potential marker of both meat and dairy productivity. In turn, the calpastatin gene (CAST) plays an important role in regulating the action of the calpain gene by inhibiting its action on muscle tissue proteins. As a promising DNA marker, a number of researchers have proposed the CAST c155C>T locus (rs137601357), associated with the thickness of subcutaneous fat, tenderness and "marbleness" of meat. The same polymorphism, according to some data, affects the signs of

dairy productivity of cows – milk yield, milk fat and protein yield, as well as on the indicators of reproductive ability (in particular, the duration of the calving interval and the number of inseminations necessary for one fertilization).

Keywords: *gene, calpain, calpastatin, meat productivity, dairy productivity, cattle*

Введение. В данной работе авторами продолжен обзор генетических маркеров мясной и молочной продуктивности крупного рогатого скота [1]. Протеины кальпаин (CAPN1) и кальпастатин (CAST) из-за наличия между ними функциональных связей относят к белкам кальпаин-кальпастатиновой системы, непосредственно влияющей на параметры «нежности» и «мраморной» структуры мяса. Установлено, что именно они принимают активное участие в декомпозиции мышечной ткани, происходящей после убоя животных [2–4].

Обладая определённым действием на признаки мясной продуктивности, полиморфизмы в генах CAPN1 и CAST, по некоторым данным, также влияют на воспроизводительную способность и показатели молочной продуктивности коров. Поэтому цель данной работы заключалась в обобщении литературных данных, касающихся комплексного влияния данных генов одновременно на признаки мясной и молочной продуктивности крупного рогатого скота. Рассмотрение данных локусов в качестве маркеров, пригодных для комбинированной селекции скота, производится впервые и обладает необходимой новизной и актуальностью.

Материал и методы исследования. Для выполнения работы использовались базы данных электронных библиотек eLibrary (https://elibrary.ru/), КиберЛенинка (https://cyberleninka.ru/), PubMed (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/) и ResearchGate (https://www.researchgate.net/). В ходе работы были изучены данные 369 литературных источников, из которых 25 включены в текст публикации.

Генетические маркеры мясной продуктивности традиционно учёные делят на те, что влияют преимущественно на жировой обмен, и те, что влияют на интенсивность роста мышц (белковый обмен) и качественные характеристики мяса (цвет, нежность). В связи с этим в данной публикации приведён обзор актуальных литературных данных по генам CAPN1 и CAST.

Результаты исследований.

Ген кальпаина (CAPN1)

Кальпаины представляют собой группу протеаз, которые активируются кальцием и участвуют в различных клеточных процессах, включая клеточную сигнализацию, апоптоз и регуляцию клеточного цикла. Трансляция протеинов группы CAPN может происходить на различных участках клетки, но большая их часть концентрируется в цитоплазме, где они могут взаимодействовать с различными белками и участвовать в клеточных сигналах. Некоторые кальпаины могут перемещаться в ядро клетки, где они участвуют в регуляции транскрипции генов. Кроме того, кальпаины могут взаимодействовать с мембранами клеток и органелл, что влияет на их функции и целостность [5; 6].

Ген кальпаина 1 (CAPN1) состоит из 22 экзонов и расположен на 29-й хромосоме крупного рогатого скота*. На данный момент известно 10687 полиморфизмов, локализованных в регионе данного гена, в том числе 1462 мутации, влияющие непосредственно на первичную структуру полипептидной цепи продукта синтеза (миссенс-мутации, сдвиги рамки чтения, возникающие старт- и стоп-кодоны, различные варианты альтернативного сплайсинга)**.

Ген CAPN1 вовлечён в механизм частичного разрушения мышечной ткани в процессе созревания мяса в послеубойный период за счёт расщепления Z-дисков и ослабления связей между мышечными волокнами. В результате создаются условия для равномерного распределения внутримышечного жира между волокнами, что обеспечивает нежность и сочность мяса, а также его «мраморность» [3; 6].

В литературе представлены данные о распространённости генотипов и аллелей локуса CAPN1, в частности, одного из перспективных полиморфизмов g.6545C>T (rs17872050), в различных породах крупного рогатого скота (табл. 1).

Как показывают данные таблицы 1, для исследованных популяций скота по данному локусу характерно полное отсутствие гомозигот с генотипом CC. При этом в значительном числе пород мясного направления продуктивности (галловейская, абердин-ангусская, аквитан блонд) наблюдается преимущественная концентрация носителей аллеля T, тогда как для молочных пород скота (голштинская, норвежский красный скот) характерно преобладание аллеля C.

Учитывая вовлечённость белка кальпаина в посмертные процессы разрушения мышечной ткани, ген CAPN1 рассматривается во многих

* CAPN1: Chr29 – Genome Data Viewer – NCBI. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gdv/browser/gene/?id=281661 (date of access: 04.08.2025).

** Gene: CAPN1 (ENSBTAG00000010230) – Variant table – *Bos_taurus* – Ensembl genome browser 114. URL: https://www.ensembl.org/Bos_taurus/Gene/Variation_Gene/Table?db=core;g=ENSBTAG00000010230;r=29:43399509-43427417 (date of access: 04.08.2025).

Таблица 1 – Частота генотипов и аллелей локуса CAPN1 g.6545C>T у крупного рогатого скота разных пород (литературные данные)

Порода	Генотип			Аллель		Литературный источник
	CC	CT	TT	C	T	
Аквитан блонд	–	–	–	0,320	0,680	C. Lisa, L. Di Stasio, 2009 [7]
Бельгийская голубая	–	–	–	0,590	0,410	C. Lisa, L. Di Stasio, 2009 [7]
Голштинская	–	–	–	0,810	0,190	C. Lisa, L. Di Stasio, 2009 [7]
Пьемонт	–	–	–	0,530	0,470	C. Lisa, L. Di Stasio, 2009 [7]
Норвежский красный скот	–	–	–	0,650	0,350	Iso-Touru T. et al., 2018 [8]
Абердин-ангусская	0,000	0,763	0,237	0,381	0,619	Коновалова Е. Н., 2024 [9]
Галловейская	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	Коновалова Е. Н., 2024 [9]

исследованиях как перспективный ДНК-маркер, значимо влияющий на параметры говядины, такие как нежность, усилие сдвига и кулинарные свойства. В ходе изучения полиморфизма rs17872000 (7:c.983C>G, 2:p.Ala316Gly), локализованного в экзоне 7 гена CAPN1, обнаружилось его значимое влияние на качество и нежность мяса, причём в качестве желательного определён генотип $CAPN1^{CC}$ [10; 11]. Исследования отечественных и зарубежных учёных-селекционеров, проведенные на группах скота абердин-ангусской и герефордской пород, показали, что скот гомозиготный или гетерозиготный по желательному аллелю C – CAPN1 (генотипы CC или CG) отличается большей нежностью и на 14–20% большей выраженностью «мраморности», по сравнению с животными, несущими генотип гомозиготный по аллелю G (генотип GG) [12; 13].

Другим интересным для изучения локусом гена CAPN1 оказался интронный полиморфизм rs17872050 (7:c.1824+169C>T, g.6545C>T), для которого установлена значимая связь с качеством мяса, в частности, с сопротивляемостью к разрезанию при обработке [14]. По данным T. Iso-Touru и соавторов (2018), полиморфизм rs17872050 оказывает значимое влияние на цвет мяса у абердин-ангусского и северного красного скота, разводимого в Финляндии [8].

Несмотря на имеющиеся данные, прямой ассоциативной связи однонуклеотидных полиморфизмов гена CAPN1 на признаки молочной продуктивности крупного рогатого скота пока не выявлено. Тем не менее, результаты исследования E. Collis и соавторов (2012) свидетельствуют о значимом влиянии мутации CAPN1 g.6545C>T на уровень инсулиноподобного фактора роста 1 в крови коров, что может оказывать косвенное влияние на уровень их молочной продуктивности [15]. В то же время H. Chung, S. Shin и E. Chung (2014) в исследованиях на корейском мясном скоте Hanwoo отмечали значимую связь полиморфизма CAPN1 g.6545C>T с параметрами, характеризующими нежность и качество мяса – усилием сдвига Уорнера-Брецлера, pH, содержанием жира, влагоудерживающей способностью и некоторыми другими [16].

В контексте изучения генетических маркеров продуктивности крупного рогатого скота следует отметить, что полиморфизмы гена кальпаина CAPN1 демонстрируют выраженную ассоциацию преимущественно с мясными характеристиками животных. Как свидетельствуют современные исследования, включая работы, опубликованные в специализированных изданиях по животноводству, данный генетический локус не обнаруживает статистически значимой связи с параметрами молочной продуктивности. Этот факт подтверждается отсутствием соответствующих данных в доступных научных публикациях и базах генетических маркеров сельскохозяйственных животных.

Ген кальпастатина (CAST)

Белок кальпастатин, наряду с кальпаином, входит в состав кальпаин-кальпастатиновой системы. Кальпастатин играет важную роль в регуляции роста мышечной ткани и является специфическим ингибитором кальпаинов – протеолитических ферментов, которые участвуют в деградации мышечных белков после убоя животного, что в конечном итоге влияет на процессы созревания мяса, его нежность и другие качественные характеристики [17–19].

У крупного рогатого скота ген кальпастатина (CAST) расположен на хромосоме 7 и состоит из 32 экзонов, 31 интрона и 5′-нетранслируемой последовательности***. В области этого гена вы-

*** CAST calpastatin [Bos taurus (domestic cattle)] – Gene – NCBI. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/gene/281039/ (date of access: 06.08.2025).

Таблица 2 – Частота генотипов и аллелей локуса CAST c155C>T у крупного рогатого скота разных пород (литературные данные)

Порода	Генотип			Аллель		Литературный источник
	CC	CT	TT	C	T	
Неллор	13,4	47,3	39,3	0,370	0,630	L. F. B. Pinto et al., 2010 [10]
Чешский помесный мясной скот	6,0	78,0	16,0	0,460	0,540	K. Kaplanová et al., 2013 [20]
Помесный мясной скот	–	–	–	0,376	0,534	M. K. Abo-Ismail et al., 2018 [21]
Голштинская	–	–	–	0,430	0,570	M. S. Ortega et al., 2017 [22]

явлено 75854 полиморфных участка ДНК, в том числе 3839 мутаций, непосредственно влияющих на первичную структуру производного белка (миссенс-мутации, сдвиги рамки чтения, стоп-кодоны, различные варианты альтернативного сплайсинга гена)****.

Литературные данные о частоте встречаемости генотипов и аллелей одного из полиморфных локусов гена кальпастатина – CAST c155C>T (rs137601357) приведены в таблице 2.

Данные таблицы 2 показывают, что полиморфизм c155C>T в области гена CAST выражен в нескольких изученных популяциях, причём в большинстве из них наибольшей распространённостью отличаются носители мутантного аллеля T (0,534…0,630) как в мясных породах (неллор) и помесях на их основе, так в и молочных породах скота (голштинская).

Учитывая роль кальпастатина в регуляции роста мышечной ткани, полиморфизмы гена CAST представляют особый интерес в качестве ДНК-маркеров, связанных с качеством говядины. Исследователями выявлено несколько однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), которые ассоциированы с качественными характеристиками мяса крупного рогатого скота. Так, SNP в экзоне 6 (g.2959A>G) связан с изменением активности кальпастатина и, как следствие, с нежностью мяса, а мутация в интроне 5 (g.2828C>T) также ассоциирована с улучшением качества мяса [23; 24]. В исследовании Е. Н. Коноваловой и соавторов (2024), проводившемся в популяции российского абердин-ангусского скота, установлено достоверное влияние полиморфизма g.2959A>G на содержание белка, жира и соединительной ткани в мясе [9].

Имеются данные и о наличии ассоциативной связи между полиморфизмом CASTc155C>T (rs137601357) и показателями нежности мяса. Первые результаты в этом направлении были получены W. Barendse с соавторами ещё в 2007 году [4]. В исследованиях K. Kaplanová и соавторов (2013) генотип CC по данному локусу ассоциировался с более выраженной нежностью мяса чешского мясного скота [20]. При этом в исследованиях M. K. Abo-Ismail и соавторов (2018) установлена ассоциативная связь между полиморфизмом CASTc155C>T и кормовой эффективностью мясного скота, а также толщиной подкожной жировой клетчатки в конце откормочного периода [21].

В то же время имеются данные о связи гена CAST с некоторыми признаками воспроизводительной способности и молочной продуктивности коров. Так, ассоциативная связь локуса CASTc155C>T с воспроизводительными признаками, а также с удоем, выходом молочного жира и белка у коров голштинской породы была выявлена в исследованиях S. D. Cochran с соавторами [25]. В то же время M. S. Ortega с коллегами (2017) определили влияние полиморфизма CASTc155C>T на репродуктивные признаки коров голштинской породы, в частности, на длительность периода от отёла до следующего оплодотворения и количество осеменений в расчёте на одно оплодотворение [22].

Таким образом, в научной литературе накоплен пул сведений, позволяющих судить о наличии влияния полиморфизма гена кальпастатина на показатели мясной продуктивности крупного рогатого скота, в частности, на содержание жира и белка в мясе, толщину подкожного жира, нежность и кулинарные качества говядины. В то же время исследований, рассматривающих данный ген как маркер молочной продуктивности коров, проведено немного, а их результаты на данный момент не позволяют составить полную картину. Это делает полиморфизм CASTc.155C>T перспективным ДНК-маркером, потенциально влияющим не только на мясные качества скота, но и на его молочную продуктивность и воспроизводительную способность.

Выводы. При обобщении литературных данных, касающихся гена кальпаина 1 крупного рогатого скота, можно выделить полиморфизм

**** Gene: CAST (ENSBTAG00000000874) – Variant table – *Bos_taurus* – Ensembl genome browser 114. URL: https://www.ensembl.org/Bos_taurus/Gene/Variation_Gene/Table?db=core;g=ENSBTAG00000000874;r=7:96034223-96167151 (date of access: 06.08.2025).

g.6545C>T (rs17872050), который оказывает влияние на нежность и «мраморность» мяса, а также на толщину подкожного жира у животных при откорме на мясо. В то же время имеются результаты исследований, указывающие на связь данного локуса с уровнем гормона IGF1, который отмечается рядом авторов как маркер молочной продуктивности коров. Полиморфизм c.155C>T гена кальпастатина (rs137601357), в свою очередь, ассоциирован со скоростью роста живой массы молодняка, количеством мышечных волокон, площадью «мышечного глазка», нежностью и «мраморностью» мяса. Сведения о непосредственном влиянии данного локуса на параметры молочной продуктивности коров в литературе на данный момент не представлены, однако имеются результаты исследований, показывающие связь полиморфизма CAST c.155C>T с параметрами воспроизводительной способности коров (такими как продолжительность межотельного периода и количество осеменений, приходящихся на одно оплодотворение). Таким образом, указанные полиморфизмы в генах кальпаина 1 и кальпастатина представляют интерес для изучения в качестве ДНК-маркеров, ассоциированных одновременно с признаками мясной и молочной продуктивности, пригодных для осуществления комбинированной селекции скота по комплексу признаков.

Список источников

1. Щеголев П. О., Чаицкий А. А., Чаицкая К. Д., Дуркина В. А. Гены-маркеры мясной и молочной продуктивности крупного рогатого скота: TG, RORC и SCD (обзор) // Вестник АПК Верхневолжья. 2025. № 4 (72). С. 84–91. DOI 10.35694/YARCX.2025.72.4.013.

2. Smith T. P., Casas E., Rexroad C. E. [et al.] Bovine CAPN1 maps to a region of BTA29 containing a quantitative trait locus for meat tenderness // Journal of Animal Science. 2000. Vol. 78, № 10. P. 2589–2594. DOI 10.2527/2000.78102589x.

3. Raynaud F., Fernandez E., Coulis G. [et al.] Calpain 1-titin interactions concentrate calpain 1 in the Z-band edges and in the N2-line region within the skeletal myofibril // The FEBS Journal. 2005. Vol. 272, Is. 10. P. 2578–2590. DOI 10.1111/j.1742-4658.2005.04683.x.

4. Barendse W., Harrison B. E., Hawken R. J. [et al.] Epistasis between calpain 1 and its inhibitor calpastatin within breeds of cattle // Genetics. 2007. Vol. 176, № 4. P. 2601–2610. DOI 10.1534/genetics.107.074328.

5. Zimmerman U. J., Schlaepfer W. W. Two-stage autolysis of the catalytic subunit initiates activation of calpain I // Biochimica et Biophysica Acta. 1991. Vol. 1078, № 2. P. 192–198. DOI 10.1016/0167-4838(91)99009-h.

6. Raynaud F., Bonnal C., Fernandez E. [et al.] The calpain 1-alpha-actinin interaction. Resting complex between the calcium-dependent protease and its target in cytoskeleton // European Journal of Biochemistry. 2003. Vol. 270, № 23. P. 4662–4670. DOI 10.1046/j.1432-1033.2003.03859.x.

7. Lisa C., Di Stasio L. Variability of μ-Calpain and Calpastatin genes in cattle // Italian Journal of Animal Science. 2009. Vol. 8, Is. sup2. P. 99–101. DOI 10.4081/ijas.2009.s2.99.

8. Iso-Touru T., Pesonen M., Fischer D. [et al.] The effect of CAPN1 and CAST gene variations on meat quality traits in Finnish Aberdeen Angus and Nordic Red Cattle populations // Agricultural and Food Science. 2018. Vol. 27, № 4. P. 227–231. DOI 10.23986/afsci.75125.

9. Коновалова Е. Н., Евстафьева Л. В., Сафонова С. С. [и др.] Химический состав и гистологическая структура длиннейшей мышцы спины крупного рогатого скота абердин-ангусской породы в зависимости от генотипа // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 41–52. DOI 10.33284/2658-3135-107-4-41. EDN LZBAGR.

10. Pinto L. F. B., Ferraz J. B. S., Meirelles F. V. [et al.] Association of SNPs on CAPN1 and CAST genes with tenderness in Nellore cattle // Genetics and Molecular Research : GMR. 2010. Vol. 9, № 3. P. 1431–1442. DOI 10.4238/vol9-3gmr881.

11. Cafe L. M., Mclntyre B. L., Robinson D. L. [et al.] Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 1. Growth, efficiency, temperament, and carcass characteristics // Journal of Animal Science. 2010. Vol. 88, № 9. P. 3047–3058. DOI 10.2527/jas.2009-2678.

12. Allais S., Journaux L., Levéziel H. [et al.] Effects of polymorphisms in the calpastatin and μ-calpain genes on meat tenderness in 3 French beef breeds // Journal of Animal Science. 2011. Vol. 89, № 1. P. 1–11. DOI 10.2527/jas.2010-3063.

13. Сонич Н. А., Епишко О. А., Танана Л. А. [и др.] Показатели мясной продуктивности абердин-ангус х черно-пестрых быков в зависимости от генотипов по генам тиреоглобулина (TG5), кальпаина (CAPN1) и миостатина (MSTN) // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы : сб. науч. тр. Гродно : Гродненский государственный аграрный университет, 2019. Т. 44. С. 226–235. EDN TCIYRE.

14. McClure M. C., Ramey H. R., Rolf M. M. [et al.] Genome-wide association analysis for quantitative trait loci influencing Warner-Bratzler shear force in five taurine cattle breeds // Animal Genetics. 2012. Vol. 43, № 6. P. 662–673. DOI 10.1111/j.1365-2052.2012.02323.x.

15. Collis E., Fortes M. R., Zhang Y. [et al.] Genetic variants affecting meat and milk production traits appear to have effects on reproduction traits in cattle // Animal Genetics. 2012. Vol. 43, № 4. P. 442–446. DOI 10.1111/j.1365-2052.2011.02272.x.

16. Chung H., Shin S., Chung E. Effects of genetic variants for the bovine calpain gene on meat tenderness // Molecular Biology Reports. 2014. Vol. 41, № 5. P. 2963–2970. DOI 10.1007/s11033-014-3152-3.

17. Mellgren R. L., Renno W. M., Lane R. D. The non-lysosomal, calcium-dependent proteolytic system of mammalian cells // Revisiones Sobre Biologia Celuar : RBC. 1989. Vol. 20. P. 139–159.

18. McClelland P., Hathaway D. R. The calpain-calpastatin system in vascular smooth muscle // FEBS Letters. 1991. Vol. 290, № 1-2. P. 55–57. DOI 10.1016/0014-5793(91)81224-v.

19. Morgan J. B., Wheeler T. L., Koohmaraie M. [et al.] Effect of castration on myofibrillar protein turnover, endogenous proteinase activities, and muscle growth in bovine skeletal muscle // Journal of Animal Science. 1993. Vol. 71, № 2. P. 408–414. DOI 10.2527/1993.712408x.

20. Kaplanová K., Dufek A., Dračková E. [et al.] The association of CAPN1, CAST, SCD, and FASN polymorphisms with beef quality traits in commercial crossbred cattle in the Czech Republic // Czech Journal of Animal Science. 2013. Vol. 58, № 11. P. 489–496. DOI 10.17221/7044-CJAS.

21. Abo-Ismail M. K., Lansink N., Akanno E. [et al.] Development and validation of a small SNP panel for feed efficiency in beef cattle // Journal of Animal Science. 2018. Vol. 96, № 2. P. 375–397. DOI 10.1093/jas/sky020.

22. Ortega M. S., Denicol A. C., Cole J. B. [et al.] Association of single nucleotide polymorphisms in candidate genes previously related to genetic variation in fertility with phenotypic measurements of reproductive function in Holstein cows // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100, № 5. P. 3725–3734. DOI 10.3168/jds.2016-12260.

23. Pintos D., Corva P. M. Association between molecular markers for beef tenderness and growth traits in Argentinian angus cattle // Animal Genetics. 2011. Vol. 42, № 3. P. 329–332. DOI 10.1111/j.1365-2052.2010.02160.x.

24. Ribeca C., Bonfatti V., Cecchinato A. [et al.] Effect of polymorphisms in candidate genes on carcass and meat quality traits in double muscled Piemontese cattle // Meat Science. 2014. Vol. 96, № 3. P. 1376–1383. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.11.028.

25. Cochran S. D., Cole J. B., Null D. J. [et al.] Discovery of single nucleotide polymorphisms in candidate genes associated with fertility and production traits in Holstein cattle // BMC Genetics. 2013. Vol. 14. Art. 49. DOI 10.1186/1471-2156-14-49.

References

1. Shchegolev P. O., Chaitskij A. A., Chaitskaya K. D., Durkina V. A. Geny-markery myasnoj i molochnoj produktivnosti krupnogo rogatogo skota: TG, RORC i SCD (obzor) // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2025. № 4 (72). S. 84–91. DOI 10.35694/YARCX.2025.72.4.013

2. Smith T. P., Casas E., Rexroad C. E. [et al.] Bovine CAPN1 maps to a region of BTA29 containing a quantitative trait locus for meat tenderness // Journal of Animal Science. 2000. Vol. 78, № 10. P. 2589–2594. DOI 10.2527/2000.78102589x.

3. Raynaud F., Fernandez E., Coulis G. [et al.] Calpain 1-titin interactions concentrate calpain 1 in the Z-band edges and in the N2-line region within the skeletal myofibril // The FEBS Journal. 2005. Vol. 272, Is. 10. P. 2578–2590. DOI 10.1111/j.1742-4658.2005.04683.x.

4. Barendse W., Harrison B. E., Hawken R. J. [et al.] Epistasis between calpain 1 and its inhibitor calpastatin within breeds of cattle // Genetics. 2007. Vol. 176, № 4. P. 2601–2610. DOI 10.1534/genetics.107.074328.

5. Zimmerman U. J., Schlaepfer W. W. Two-stage autolysis of the catalytic subunit initiates activation of calpain I // Biochimica et Biophysica Acta. 1991. Vol. 1078, № 2. P. 192–198. DOI 10.1016/0167-4838(91)99009-h.

6. Raynaud F., Bonnal C., Fernandez E. [et al.] The calpain 1-alpha-actinin interaction. Resting complex between the calcium-dependent protease and its target in cytoskeleton // European Journal of Biochemistry. 2003. Vol. 270, № 23. P. 4662–4670. DOI 10.1046/j.1432-1033.2003.03859.x.

7. Lisa C., Di Stasio L. Variability of μ-Calpain and Calpastatin genes in cattle // Italian Journal of Animal Science. 2009. Vol. 8, Is. sup2. P. 99–101. DOI 10.4081/ijas.2009.s2.99.

8. Iso-Touru T., Pesonen M., Fischer D. [et al.] The effect of CAPN1 and CAST gene variations on meat quality traits in Finnish Aberdeen Angus and Nordic Red Cattle populations // Agricultural and Food Science. 2018. Vol. 27, № 4. P. 227–231. DOI 10.23986/afsci.75125.

9. Konovalova E. N., Evstaf'eva L. V., Safonova S. S. [i dr.] Himicheskij sostav i gistologicheskaya struktura dlinnejshej myshcy spiny krupnogo rogatogo skota aberdin-angusskoj porody v zavisimosti ot genotipa // Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2024. T. 107, № 4. S. 41–52. DOI 10.33284/2658-3135-107-4-41. EDN LZBAGR.

10. Pinto L. F. B., Ferraz J. B. S., Meirelles F. V. [et al.] Association of SNPs on CAPN1 and CAST genes with tenderness in Nellore cattle // Genetics and Molecular Research : GMR. 2010. Vol. 9, № 3. P. 1431–1442. DOI 10.4238/vol9-3gmr881.

11. Cafe L. M., McIntyre B. L., Robinson D. L. [et al.] Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 1. Growth, efficiency, temperament, and carcass characteristics // Journal of Animal Science. 2010. Vol. 88, № 9. P. 3047–3058. DOI 10.2527/jas.2009-2678.

12. Allais S., Journaux L., Levéziel H. [et al.] Effects of polymorphisms in the calpastatin and μ-calpain genes on meat tenderness in 3 French beef breeds // Journal of Animal Science. 2011. Vol. 89, № 1. P. 1–11. DOI 10.2527/jas.2010-3063.

13. Sonich N. A., Epishko O. A., Tanana L. A. [i dr.] Pokazateli myasnoj produktivnosti aberdin-angus h chernopestryh bykov v zavisimosti ot genotipov po genam tireoglobulina (TG5), kal'paina (CAPN1) i miostatina (MSTN) // Sel'skoe hozyajstvo – problemy i perspektivy : sb. nauch. tr. Grodno : Grodnenskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2019. T. 44. S. 226–235. EDN TCIYRE.

14. McClure M. C., Ramey H. R., Rolf M. M. [et al.] Genome-wide association analysis for quantitative trait loci influencing Warner-Bratzler shear force in five taurine cattle breeds // Animal Genetics. 2012. Vol. 43, № 6. P. 662–673. DOI 10.1111/j.1365-2052.2012.02323.x.

15. Collis E., Fortes M. R., Zhang Y. [et al.] Genetic variants affecting meat and milk production traits appear to have effects on reproduction traits in cattle // Animal Genetics. 2012. Vol. 43, № 4. P. 442–446. DOI 10.1111/j.1365-2052.2011.02272.x.

16. Chung H., Shin S., Chung E. Effects of genetic variants for the bovine calpain gene on meat tenderness // Molecular Biology Reports. 2014. Vol. 41, № 5. P. 2963–2970. DOI 10.1007/s11033-014-3152-3.

17. Mellgren R. L., Renno W. M., Lane R. D. The non-lysosomal, calcium-dependent proteolytic system of mammalian cells // Revisiones Sobre Biologia Celuar : RBC. 1989. Vol. 20. P. 139–159.

18. McClelland P., Hathaway D. R. The calpain-calpastatin system in vascular smooth muscle // FEBS Letters. 1991. Vol. 290, № 1-2. P. 55–57. DOI 10.1016/0014-5793(91)81224-v.

19. Morgan J. B., Wheeler T. L., Koohmaraie M. [et al.] Effect of castration on myofibrillar protein turnover, endogenous proteinase activities, and muscle growth in bovine skeletal muscle // Journal of Animal Science. 1993. Vol. 71, № 2. P. 408–414. DOI 10.2527/1993.712408x.

20. Kaplanová K., Dufek A., Dračková E. [et al.] The association of *CAPN1*, *CAST*, *SCD*, and *FASN* polymorphisms with beef quality traits in commercial crossbred cattle in the Czech Republic // Czech Journal of Animal Science. 2013. Vol. 58, № 11. P. 489–496. DOI 10.17221/7044-CJAS.

21. Abo-Ismail M. K., Lansink N., Akanno E. [et al.] Development and validation of a small SNP panel for feed efficiency in beef cattle // Journal of Animal Science. 2018. Vol. 96, № 2. P. 375–397. DOI 10.1093/jas/sky020.

22. Ortega M. S., Denicol A. C., Cole J. B. [et al.] Association of single nucleotide polymorphisms in candidate genes previously related to genetic variation in fertility with phenotypic measurements of reproductive function in Holstein cows // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100, № 5. P. 3725–3734. DOI 10.3168/jds.2016-12260.

23. Pintos D., Corva P. M. Association between molecular markers for beef tenderness and growth traits in Argentinian angus cattle // Animal Genetics. 2011. Vol. 42, № 3. P. 329–332. DOI 10.1111/j.1365-2052.2010.02160.x.

24. Ribeca C., Bonfatti V., Cecchinato A. [et al.] Effect of polymorphisms in candidate genes on carcass and meat quality traits in double muscled Piemontese cattle // Meat Science. 2014. Vol. 96, № 3. P. 1376–1383. DOI 10.1016/j.meatsci.2013.11.028.

25. Cochran S. D., Cole J. B., Null D. J. [et al.] Discovery of single nucleotide polymorphisms in candidate genes associated with fertility and production traits in Holstein cattle // BMC Genetics. 2013. Vol. 14. Art. 49. DOI 10.1186/1471-2156-14-49.

Информация об авторах

Павел Олегович Щеголев – кандидат сельскохозяйственных наук, селекционер-зоотехник Регионального информационно-селекционного центра, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 4842-8345.

Алексей Александрович Чаицкий – кандидат биологических наук, преподаватель кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, заведующий лабораторией генетики и ДНК-технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 3284-3654.

Ксения Дмитриевна Чаицкая – кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры внутренних незаразных болезней, хирургии и акушерства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 6120-9223.

Виктория Алексеевна Дуркина – обучающаяся факультета ветеринарной медицины и зоотехнии, лаборант лаборатории генетики и ДНК-технологий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», spin-код: 6693-6977.

Information about the authors

Pavel O. Schiogolev – Candidate of Agricultural Sciences, breeder-zootechnician of the Regional Information and Breeding Center, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 4842-8345.

Aleksey A. Chaitskiy – Candidate of Biological Sciences, lecturer of the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics, Head of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 3284-3654.

Kseniya D. Chaickaya – Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of internal non-contagious diseases, surgery, and obstetrics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 6120-9223.

Victoriya A. Durkina – student of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics, laboratory assistant of the Laboratory of Genetics and DNA Technologies, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kostroma State Agricultural Academy", spin-code: 6693-6977.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Официальный сайт
ФГБОУ ВО «Ярославский ГАУ»:

www.yaragrovuz.ru

РУБРИКИ САЙТА:

Сведения об образовательной организации –
– Агросоветник – Образование – Абитуриенту –
– Наука и международная деятельность
(в том числе научный журнал «Вестник АПК Верхневолжья») –
– Дополнительное образование – Факультеты

Все выпуски журнала «Вестник АПК Верхневолжья» в полнотекстовом формате,
требования к оформлению рукописей, контакты на страничке:
http://yaragrovuz.ru/index.php/nauka-i-mezhdunarodnaya-deyatelnost/zhurnal-vestnik-apk-vekhnevolzhya